



**HACETTEPE
ÜNİVERSİTESİ**

BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ

KÖK KANAL İRRİGASYONU SIRASINDA OLUŞAN APİKAL EKSTRÜZYON
MİKTARININ FARKLI İRRİGASYON SİSTEMLERİ KULLANILARAK
DEĞERLENDİRİLMESİ

Proje No: THD-2019-18156

Proje Türü: Hızlı Destek

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü

Ayhan Eymirli
Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı

Araştırmacı

Sıla Nur Usta
Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı

Ocak 2021
ANKARA

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi (Proje No: THD-2019-18156) tarafından desteklenmiştir. Deney sonuçlarında oluşan apikal ekstrüzyon alanlarının ArcMAP yazılımı kullanılarak ölçülmesinde yardımlarından dolayı İnşaat Yüksek Mühendisi Eray Usta'ya teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1 Şırınga-İğne İrrigasyonu (SNI)	3
2.2 EndoAktivatör (EA)	4
2.3 Pasif Ultrasonik İrrigasyon (PUI)	5
2.4 EDDY	5
3. GEREÇ VE YÖNTEM	7
3.1 Dişlerin Seçilmesi ve Enstrumentasyonu	7
3.2 Dişlerin Jel İçerisine Gömülmesi	7
3.3 Final İrrigasyon Prosedürleri	8
3.4 Apikal Ekstrüzyon Alanının Ölçülmesi	9
3.5 İstatistiksel Analiz	11
4. BULGULAR	12
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	15
6. KAYNAKLAR	18

ÖZET

Kök kanal irrigasyonu sırasında oluşan apikal ekstrüzyon miktarının farklı irrigasyon sistemleri kullanılarak değerlendirilmesi. Ankara, 2020. Bu çalışmanın amacı, sodyum hipokloritin (NaOCl), kök kanallarının final irrigasyonu sırasında oluşan apikal ekstrüzyon miktarını; şırınga-iğne irrigasyonu (SNI), EndoActivator (EA), pasif ultrasonik irrigasyon (PUI) ve EDDY kullanarak değerlendirmektir. Çalışma kapsamında kullanılan 100 adet tek köklü insan dişi, ProTaper Gold rotary eğe sistemi kullanılarak genişletilmiştir. Hazırlanan dişler, 1 ml %0.1'lik m-Cresol purple içeren %0.2'lik agaroz jel ile doldurulmuş plastik bir kap içerisine yerleştirilmiş ve kompozit rezin ile sabitlenmiştir. m-Cresol purple içeren agaroz jelin rengi pH 7.4'te sarı iken 9 veya daha yüksek bir pH'ta mor renge dönmektedir. Bu renk değişikliği 11.4 pH değerine sahip NaOCl'nin jel içerisine difüze olduğunu göstermektedir. Daha sonra yukarıda belirtilen 4 irrigasyon sistemi kullanılarak kanallar %5.25'lik NaOCl ile irrig edilmiştir. Her örnek, final irrigasyonundan sonra sabit bir mesafede konumlandırılmış bir kamera kullanılarak, labio-lingual ve meziyo-distal yönlerde dijital olarak fotoğraflanmıştır. Jeldeki renk değişimini kullanarak apikal ekstrüzyon alanlarını ölçmek için görüntüler ArcMAP yazılımı ile işlenmiştir. Elde edilen veriler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Apikal ekstrüzyon gösteren dişlerin oranı; SNI için %25, PUI için %41.6, EA için %58.3 ve EDDY için %83.3 olarak bulunmuştur. SNI, EA, PUI ve EDDY grupları için apikal ekstrüzyon alanlarının ortalama değerleri sırasıyla 0.04 cm², 0.09 cm², 0.13 cm² ve 0.21 cm² olarak ölçülmüştür. EDDY grubu diğer gruplara göre daha yüksek apikal ekstrüzyon değerleri göstermesine rağmen; sadece SNI ve EDDY grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur (p<0.05). Bu çalışmada, tüm irrigasyon sistemlerinin farklı seviyelerde apikal ekstrüzyona neden olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle kök kanal tedavilerinin kalitesini artırmak için, irrigasyon sistemi seçilirken, apikal ekstrüzyonun potansiyel etkisi dikkate alınmalıdır.

Anahtar kelimeler: Apikal ekstrüzyon, EDDY, EndoAktivatör, final irrigasyonu, pasif ultrasonik irrigasyon

ABSTRACT

Evaluation of the effect of different irrigation systems on apical extrusion of sodium hypochlorite. Ankara, 2020. The aim of this in vitro study was to evaluate the apical extrusion of NaOCl during the final irrigation of root canals as per the irrigation systems of syringe-needle irrigation (SNI), EndoActivator (EA), passive ultrasonic irrigation (PUI), and EDDY. 100 single-canal human extracted teeth were instrumented with ProTaper Gold rotary files. After that, teeth were fixed and secured with composite resin in a plastic container which was filled with 0.2% agarose gel containing 1 ml 0.1% m-Cresol purple. m-Cresol purple allows the pH-sensitive color change in the agarose gel from yellow at a pH of 7.4 to purple at a pH of 9 and higher. It provides the detection of apical extrusion of NaOCl in the gel. The abovementioned four irrigation systems were used for final irrigation. Subsequently, each sample was digitally photographed in labiolingual and mesiodistal directions. Images were processed with ArcMAP software to measure apical extrusion areas using the color change in the gel. The data were statistically analyzed. The frequency of teeth with apical extrusion as per the irrigation system was 25% for SNI, 41.6% for PUI, 58.3% for EA, and 83.3% for EDDY groups. The mean values of apical extrusion areas for SNI, EA, PUI, and EDDY groups were found as 0.04 cm², 0.09 cm², 0.13 cm², and 0.21 cm² respectively. Although the EDDY group showed higher apical extrusion values than the other groups, a statistically significant difference was only found between SNI and EDDY groups ($p < 0.05$). It was observed that all irrigation systems used in this study caused apical extrusion of NaOCl at different levels. Therefore, in order to improve the quality of root canal treatments, the potential effect of apical extrusion should be taken into consideration when selecting the irrigation system.

Keywords: Apical extrusion, EDDY, EndoActivator, final irrigation, passive ultrasonic irrigation.

1. GİRİŞ

Mikroorganizmaların, mikrobiyal yan ürünlerin ve kanal içindeki debrisin kemomekanik debridman yoluyla azaltılması, kök kanal tedavisinin en önemli basamaklarından biridir [1]. Dişlerin kök kanal morfolojileri birçok değişik varyasyon gösterdiğinden, yeterli mekanik debridman etkili bir şekilde yapılamamaktadır. Literatürde yapılan çalışmalarda kök kanal sisteminin %35'nin veya daha fazlasının mekanik debridman ile etkili bir şekilde temizlenemediği belirtilmiştir [2, 3]. Bu nedenle, mekanik debridmanın etkinliğini artırmak için endodontik irrigasyon solüsyonları kullanılmalıdır [4].

Endodontik irrigasyon solüsyonları, antimikrobiyal kapasiteye sahip olmalı, nekrotik dokuyu çözebilmeli, lubrikant özellikte olmalı ve kanal içindeki debris ve smear tabakasını temizleyebilmelidir [5]. Günümüzde hiçbir irrigasyon solüsyonu kök kanal sisteminin tüm yönlerinde, özellikle de apikal üçlü bölgesinde, etkili olamamakla birlikte; sodyum hipoklorit (NaOCl) üstün özellikleri nedeniyle rutin endodontik tedavilerde en yaygın kullanılan irrigasyon solüsyonudur [6]. Fakat, NaOCl'nin istenmeyen apikal ekstrüzyonu ağrı ve şişlikle karakterize bir doku hasarına neden olabilmektedir [7]. Buna ek olarak, NaOCl vital dokularla temas ettiğinde kök hücrelere sitotoksik etki gösterebilmektedir [8]. Bu nedenle NaOCl, apikal ekstrüzyonu önleyebilmek adına, kök kanalı ile sınırlı olacak şekilde kullanılmalıdır [9].

Endodontik irrigasyon solüsyonlarının kök kanal boşluğuna iletilmesini sağlayarak solüsyonun ajitasyonuna yardımcı olan birçok sistem bulunmaktadır. Bu sistemlere; şırınga-iğne irrigasyonu (SNI), ultrasonik ve sonik irrigasyon, lazer ile aktive edilmiş irrigasyon ve negatif apikal basınçlı irrigasyon örnek olarak verilebilir [10-12]. Rutin endodontik tedavilerde, irrigasyon solüsyonun 27-G ya da 30-G'lik yandan açılı iğnelerle kanal içine verildiği, SNI sıklıkla kullanılmaktadır [13]. Ancak, kök kanal anatomilerinin değişkenlik göstermesi nedeniyle iğne derinliğini ayarlamak ve tüm kök kanal sisteminin etkin bir şekilde dezenfeksiyonunu sağlamak SNI yöntemiyle zor olmaktadır [1, 14]. Bununla birlikte, yeterli basıncın uygulanmasında yaşanan problemler bu sistemin bir başka zorluğudur. Özellikle NaOCl'nin kanal içerisine çok fazla miktarda basınç ile uygulanması apikal ekstrüzyona neden olarak çeşitli yumuşak doku hasarları meydana getirebilmektedir [15]. Bu nedenle endodontik ajitasyonun sağlanmasında ultrasonik ve sonik irrigasyon sistemleri, dezenfeksiyon ve debridman

etkinliğini artırdığı için, gün geçtikçe önem kazanmıştır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında, son zamanlarda kullanımı gittikçe artan ve literatürde daha önce matür dişlerde apikal ekstrüzyon miktarının değerlendirilmediği EDDY ile birlikte, rutin endodontik tedavilerde sıklıkla kullanılan SNI, EndoAktivatör (EA) ve Pasif Ultrasonik İrrigasyon (PUI) kullanılmış ve apikal ekstrüzyon miktarları karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.

100 adet tek kanallı bilateral çekilmiş insan dişleri çalışma kapsamında ProTaper Gold rotary eğre sistemi ile genişletilmiştir. Hazırlanan dişler, 1 ml %0.1'lik m-Kresol purple içeren %0.2'lik agaroz jel ile doldurulmuş plastik bir kap içerisine kompozit rezin ile sabitlenmiştir. m-Kresol moru içeren agaroz jelin rengi pH 7.4'te sarı iken 9 veya daha yüksek pH'ta mor renge dönmektedir. Bu renk değişikliği 11.4 pH değerine sahip NaOCl'nin jel içerisine difüze olduğunu göstermektedir. Daha sonra kök kanlları; SNI, EA, PUI ve EDDY irrigasyon sistemleri kullanılarak, %5.25'lik NaOCl ile irriga edilmiştir. Her örnek, final irrigasyonundan sonra sabit bir mesafede konumlandırılmış bir kamera ile, bukkal ve proksimal yönlerde dijital olarak fotoğraflanmıştır. Görüntüler ArcMAP yazılımı ile işlenmiştir. Veriler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Bulgular kapsamında; SNI, EA, PUI ve EDDY'nin apikal ekstrüzyon miktarı değerlendirilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Endodontik irrigasyon, tek başına mekanik debridman ile elde edilenden daha fazla temizlik sağladığından, kök kanal sistemi dezenfeksiyonunun önemli bir parçasıdır [16]. Günümüzde ideal irrigasyon solüsyonu mevcut olmasa da ; yüksek antimikrobiyal etkinliği, uygun pH'a sahip olması, debris ve smear tabakasını etkili bir şekilde uzaklaştırabilmesi ve organik dokuyu çözebilmesi gibi olumlu özelliklerinden dolayı NaOCl sıklıkla tercih edilen irrigasyon solüsyonudur [17, 18]. Bununla birlikte irrigasyon solüsyonlarının tam olarak etkinlik gösterebilmesi için tüm kanal duvarlarına ve özellikle apikal bölgeye doğrudan temas ettirilmelidir [19]. Ancak bu etkinliği sağlarken NaOCl'nin, sitotoksik özelliğinden dolayı, apikal bölgeden ekstrüze olmaması önemli bir noktadır.

Araştırmacılar, endodontik irrigasyon solüsyonunun kök kanal sistemine daha etkili ve güvenli bir şekilde verilebilmesi ve daha yüksek ajitasyon sağlanabilmesi amacıyla çeşitli irrigasyon sistemleri geliştirmişlerdir. Bu çalışmada; SNI, EA, PUI ve EDDY irrigasyon sistemleri apikal ekstrüzyon miktarları kapsamında karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.

2.1 Şırınga-İğne İrrigasyonu (SNI)

Şırınga ile irrigasyon tekniği günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknikte 27-G ya da 30-G'lik irrigasyon iğneleri bir şırınga ile kök kanal sistemi içerisinde aşağı yukarı yönde hareket ettirilerek kullanılmaktadır [20]. Bu teknikte kullanılan iğnelerin açık uçlu ve yandan açılı gibi çeşitli formları mevcuttur [21]. Özellikle yandan açılı kapalı uçlu iğnelerin kullanıldığı durumlarda irrigasyon solüsyonunun apikalden ekstrüzyonunun daha az olduğu belirtilmiştir [22].

SNI tekniğinde kanal içindeki iğnenin penetrasyon derinliğinin ve irrigasyon solüsyonunun hacminin kontrolü daha kolay sağlanabilmektedir [23]. Ancak, SNI'nın tüm kök kanal sistemine tam olarak erişememesi ve bu nedenle erişilemeyen bölgelerde bakteri ve debris birikiminin olması, başarısız endodontik tedavilere yol açabilmektedir [23]. İrrigasyon iğnesinin apikal bölgeye yakın olarak kullanıldığında etkinliğinin arttığı belirtilse de [24], bu durum apikal ekstrüzyon riskini arttıracığından dikkatli olunmalıdır.

Literatürde SNI'nın apikal ekstrüzyon miktarı çeşitli irrigasyon sistemleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. EA, EndoVac, Rispi-Sonic/MicroMega 1500, PUI ve SNI'nın karşılaştırıldığı bir çalışmada, SNI'nın apikal ekstrüzyonu önemli derecede arttırdığı görülmüştür [25]. SNI, EndoVac, EA, PUI ve Rinsendo'nun karşılaştırıldığı diğer bir çalışmada ise SNI, PUI ve Rinsendo grularında, EndoVac ve EA grupları ile karşılaştırıldığında çok daha büyük miktarda ekstrüzyon varlığı saptanmıştır [26]. SNI, EA, EndoVac, XP Endo Finisher ve PIPS'in karşılaştırıldığı bir başka çalışmada ise, SNI'nın EA ile arasında apikal ekstrüzyon açısından anlamlı bir fark bulunmazken; PIPS'e göre apikal ekstrüzyonu anlamlı ölçüde azdır. SNI, PUI ve EA ile yapılan bir diğer çalışmada da ise apikal ekstrüzyon açısından aralarında anlamlı bir fark bulunamamıştır [27].

2.2 EndoAktivatör (EA)

EndoActivator (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa,OK) sonik irrigasyonda kullanılmak için üretilmiş bir cihazdır. 2000-10.000 Hz'lik frekans aralığında çalışabilmektedir. Taşınabilir bir başlık ve 3 farklı tipte tek kullanımlık polimer uçtan oluşmaktadır. Bu polimer uçların güçlü ve esnek olduğu ve kolayca kırılmadığı iddia edilmektedir [20]. Bu keskin olmayan polimer uçlar irrigasyon solüsyonuna belirli bir hız ve kuvvetle hareket kazandırmaktadır. EA'nın etki mekanizmasının; ucun, kök kanalındaki ileri ve geri hareketleriyle oluşan sinerjistik etkiyle oluşturduğu hidrodinamik aktivasyona ilişkin olduğu rapor edilmiştir [28].

EA'nın aksesuar kanallardaki debris etkili bir şekilde temizleyebildiği, smear tabakasını uzaklaştırabildiği ve biyofilm tabakasının ortadan kaldırabildiği bildirilmiştir [29].

Literatürde EA'nın apikal ekstrüzyon miktarı çeşitli irrigasyon sistemleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. EA, EndoVac, Max-iProbe, ve PIPS'in karşılaştırıldığı bir çalışmada; EA, EndoVac ve Max-iProbe arasında bir fark gözlenmezken; PIPS ile karşılaştırıldığında EA'nın apikal ekstrüzyon miktarının daha az olduğu görülmüştür [30]. SNI, EndoVac, EA, PUI ve Rinsendo'nun karşılaştırıldığı diğer bir çalışmada ise; EA'nın minimal derecede apikal ekstrüzyona sebep olduğu gözlenmiştir [26]. SNI, EA, EndoVac, XP Endo Finisher ve PIPS'in karşılaştırıldığı bir başka çalışmada, EA'nın SNI ile arasında anlamlı bir fark bulunmazken; PIPS'e göre apikal ekstrüzyonu anlamlı ölçüde azdır [31].

2.3 Pasif Ultrasonik İrrigasyon (PUI)

İlk olarak Weller ve meslektaşları tarafından tanımlanan PUI, 25.000-30.000 Hz'lik frekansta enstrümantasyon işlemi sonrası irrigasyon solüsyonunun aktive etmek için kullanılmaktadır [32]. PUI'nin etkinliği, titreşim gösteren alet aracılığı ile kök kanalındaki irrigasyon solüsyonuna akustik enerjinin aktarılması esasına dayanmaktadır. Enerji, ultrasonik dalgalar yoluyla irrigasyon solüsyonuna iletilmekte ve irrigasyon solüsyonunda akustik dalgalanma ve kavitasyon meydana getirmektedir [33].

PUI'nin aksesuar kanallardaki debris etkili bir şekilde temizleyebildiği, smear tabakasını uzaklaştırabildiği ve biyofilm tabakasının ortadan kaldırabildiği bildirilmiştir [33, 34].

Literatürde PUI'nin apikal ekstrüzyon miktarı çeşitli irrigasyon sistemleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. SNI, PUI ve EA ile yapılan bir çalışmada apikal ekstrüzyon miktarlarının minimal olduğu ve aralarında anlamlı bir fark bulunmadığı bildirilmiştir [27]. PUI, SNI, Diode Lazer ve Nd:YAG Lazer ile yapılan diğer bir çalışmada, Diode Lazer ile PUI arasında anlamlı bir fark bulunamazken Nd:YAG Lazer'e göre daha az apikal ekstrüzyona neden olduğu saptanmıştır [35]. PUI, EndoVac, SNI, EA ve Rinsendo'nun karşılaştırıldığı bir diğer çalışmada ise , PUI'nin EndoVac ve EA'ya göre daha fazla apikal ekstrüzyona neden olduğu bulunmuştur [26].

2.4 EDDY

Sonik irrigasyon cihazlarından biri olan EDDY (VDW, Münih, Almanya) esnek bir poliamid uca sahip, 5.000-6.000 Hz'lik frekansta çalışabilen bir cihazdır. Üreticiye göre EDDY, irrigasyonda oldukça etkili bir salınma neden olarak tıpkı ultrasonik sistemler gibi kavitasyon ve akustik dalgalanma meydana getirebilmektedir.

EDDY, kök kanal sistemini temizleme etkinliği EA ve PUI'ye benzer bulunmuştur [1]. Her ne kadar EDDY'nin smear tabakasını kaldırma etkinliği bulunsu da; bu etkinliğin ultrasonik sistemlere göre daha az olduğu bildirilmiştir [36]. Kanal içindeki debris uzaklaştırma etkinliği ise PUI'den daha iyi bulurken EA'ya göre düşük olarak saptanmıştır [37].

Bilgimiz dahilinde literatürde EDDY'nin apikal ekstrüzyon miktarını matür dişlerde diğer irrigasyon sistemleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendiren bir çalışma bulunmamaktadır. Yalnızca immatür dişlerde; EDDY, SNI, Ultrasonik sistemler, X-P

Endo Finisher ve Easy Clean karşılaştırılmış ve EDDY'nin diğer gruplara göre anlamlı ölçüde daha fazla apikal ekstrüzyona sebep olduğu bildirilmiştir [38].

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 Dişlerin Seçilmesi ve Enstrumentasyonu

Bu çalışma Hacettepe Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Çalışmalar Etik Kurulu tarafından onaylanmıştır (2019/15-19). Yapılan çalışmada 100 adet tek kanallı biletaral çekilmiş insan dişi kullanılmıştır. Bu dişlerden 80 tanesi deney gruplarında, 20 tanesi ise pozitif ve negatif kontrol gruplarında olacak şekilde ayrılmıştır. Seçilen dişler steril salin çözeltisi içerisinde, deneylerde kullanılabilecek kadar bekletilmiştir. Bu dişlerin seçme kriterleri: (1) tek kanallı olmaları, (2) matür apekse sahip olmaları, (3) x20 büyütme altında stereoskopik mikroskop ile incelendiklerinde herhangi bir çatlak veya apikal rezorpsiyon göstermemeleri ve (4) düz bir kök yapısına sahip olmalarıdır.

Seçilen dişlerin kavimleri 2 numaralı elmas rond frez ile su soğutması altında açılmıştır. Kanal boyları 15 numaralı K eğenin apikal forameninden görüldüğü uzunluktan 1 mm kısa olacak şekilde belirlenmiştir. Dişlerin kök kanalları ProTaper Gold rotary eğe sistemi (SX, S1, S2, F1, F2, F3, F4, and F5; Dentsply Maillefer, Baillagues, Switzerland) ile apikal boyutu #50 olacak şekilde genişletilmiştir. Her eğe arasında 15 numaralı K eğe yardımıyla apikalden dışarı çıkılarak apikal açıklık kontrol edilmiştir. Kanallar 1 mL %5.25'lik NaOCl ile her eğe arasında irrigate edilmiştir. En son eğe kullanıldıktan sonra 5 mL %5'lik sodyum tiyosülfat ve 5 mL steril salin ile yıkanan kanallar, kağıt koniler ile kurutulmuştur.

3.2 Dişlerin Jel İçerisine Gömülmesi

%0.2'lik agaroz jel (Sigma-Aldrich, St Louis, MO) hazırlanmış ve sıvı haldeyken 5 cm x 5 cm x 3.8 cm boyutlarında şeffaf plastik bir kap içerisine dökülmüştür. Daha sonra içerisine 1 mL %0.1'lik m-Kresol purple (Sigma-Aldrich, St Louis, MO) indikatörü eklenerek jelleşmesi için beklenmiştir. M-kresol purple indikatörü esas olarak spektrofotometrik pH ölçümlerinde kullanılan bir boyadır. Bu indikatör, pH'ı 7.4 olan agaroz jelin içerisine eklendiğinde jelle sarı renk vermektedir. Daha sonra pH 9 ya da daha yüksek bir değere ulaştığında jelin renginin sarıdan mora dönüşmesini sağlamaktadır. Bu nedenle final irrigasyonu sırasında jel içerisinde gözlenen mor renkli alan, jelle NaOCl (pH=11.4) ekstrüzyonu olduğunu göstermiştir.

Jelin apikal foramen yoluyla kanala girmesini engellemek için hazırlanan dişlerin kanallarına 50 numaralı K eğe yerleştirilmiş daha sonra dişler agaroz jel ile

doldurulmuş plastik bir kap içerisine konumlandırılarak kompozit rezin ile sabitlenmiştir. Tüm deneyler, jelleşmenin tamamlanması için, 2 saat sonra tamamlanmıştır.

3.3 Final İrrigasyon Prosedürleri

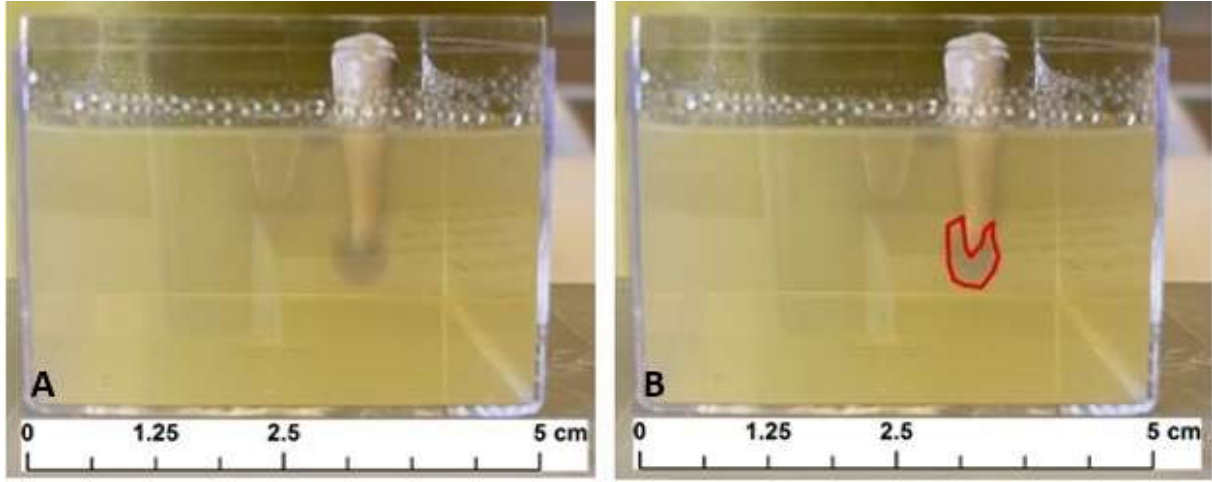
Bu çalışmada final irrigasyonu için aynı %5.25'lik NaOCl solüsyonu tüm gruplarda 2 mL/30 saniye olacak şekilde kullanılmıştır. Deneylerden önce NaOCl'nin standart pH'da olup olmadığı pH metre ile ölçülerek kontrol edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan EA, EDDY ve PUI irrigasyon sistemleri, aşağıda belirtildiği gibi çalışma frekansları küçükten büyüğe olacak şekilde ve üreticinin talimatlarına uygun olarak kullanılmıştır. Bu 3 irrigasyon sistemi de, 2 mL NaOCl SNI ile kanal içine verildikten sonra, sıvının aktive edilmesi için 30 sn boyunca uygulanmıştır.

- SNI: 27-G yandan açılı kapalı uçlu irrigasyon iğnesi belirlenen çalışma uzunluğundan 2 mm koronalde olacak şekilde kanala yerleştirilmiştir ve iğne, kanalda kilitlenmeyi önlemek için, yukarı ve aşağı yönde hareket ettirilmiştir.
- EA: 2 mL NaOCl SNI ile kanal içine verildikten sonra; aktivatör ucu (25.04) çalışma uzunluğundan 2 mm koronalde olacak şekilde kanala yerleştirilmiştir ve irrigasyon solüsyonu aşağı ve yukarı hareketlerle maksimum yoğunlukta (6000 Hz) aktive edilmiştir.
- EDDY: 2 mL NaOCl SNI ile kanal içine verildikten sonra, 25.04 boyutlarındaki kesici olmayan bir poliamid uç çalışma uzunluğundan 2 mm koronalde olacak şekilde yerleştirilmiş ve maksimum yoğunlukta (6000 Hz) aktive edilmiştir.
- PUI: 2 mL NaOCl SNI ile kanal içine verildikten sonra, ultrasonik bir cihazla (Supra-sson PMax; Satelec Acteon, Merignac, Fransa) çalıştırılan paslanmaz çelik (# 25) bir eğe (Irri-Safe; Acteon, Merignac, Fransa) çalışma uzunluğundan 2 mm koronalde olacak şekilde yerleştirilmiş ve maksimum yoğunlukta (30.000 Hz) etkinleştirilmiştir.

Pozitif (n=10) ve negatif kontrol grubu (n=10) kapsamında 20 adet diş, renk değişimini göstermek için kullanılmıştır. Bu dişler, deney gruplarındaki dişlerle aynı olacak şekilde çalışma uzunluğunda genişletilmiş ve aynı şartlarda jel içerisine sabitlenmiştir. Daha sonra pozitif kontrol grubunda iğnenin ucu çalışma uzunluğunda olacak şekilde konumlandırılmış ve 0.5 mL %5.25'lik NaOCl basınçlı bir şekilde kanal içerisine verilmiştir. Negatif kontrol grubunda ise kanal içerisine 0.5 mL steril salin verilmiştir.

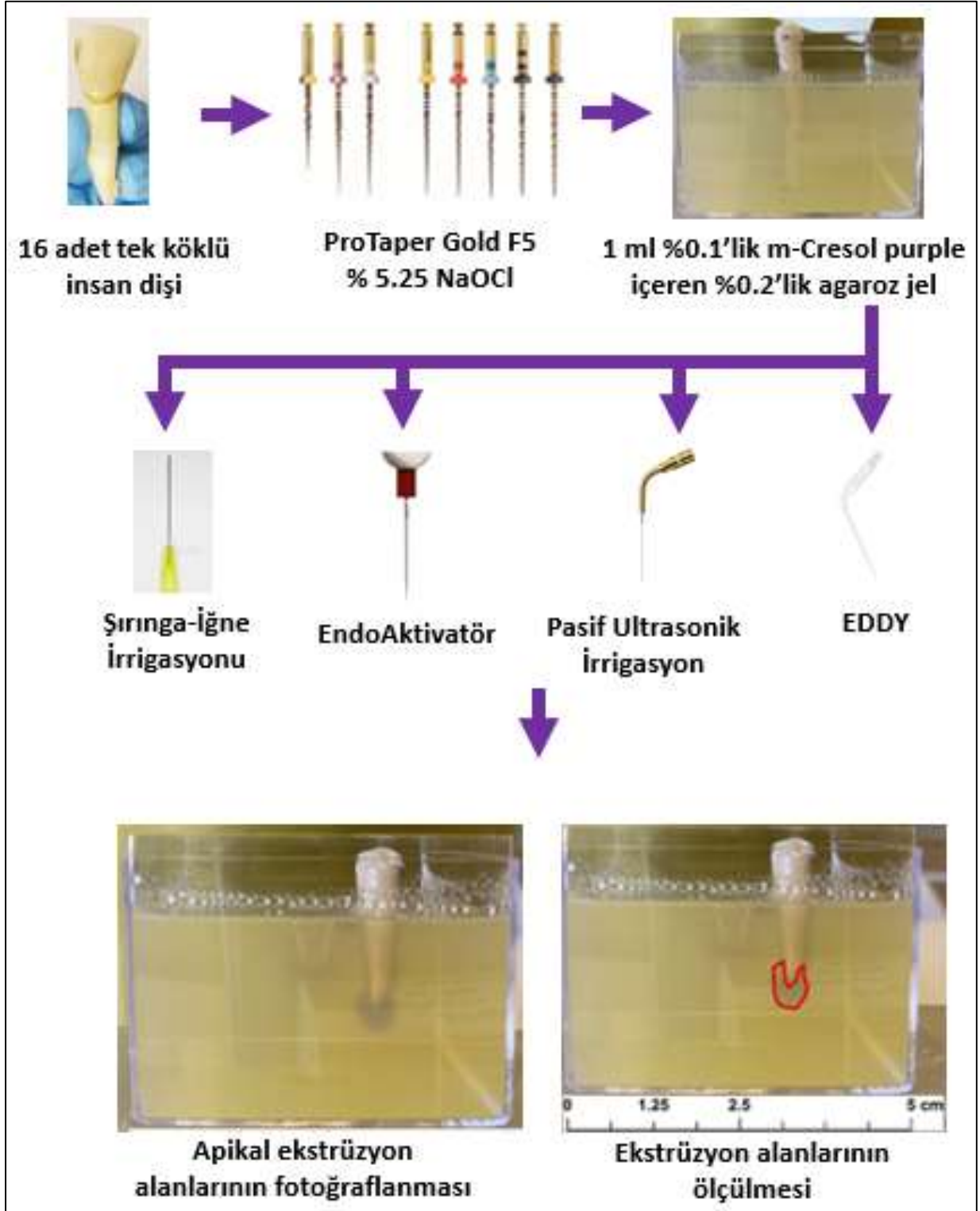
3.4 Apikal Ekstrüzyon Alanının Ölçülmesi

Tüm örnekler, final irrigasyonundan tam 3 dakika sonra, sabit bir mesafede (17.5 cm) konumlandırılmış bir kamera kullanılarak bukkal ve proksimal yönde dijital olarak fotoğraflanmıştır [30]. Fotoğraflar ArcMAP 10.2.2 yazılımı ile analiz edilmiştir. Görüntülerdeki apikal ekstrüzyonu simgeleyen mor renkli alanlar yazılım kullanılarak çizilen poligonlar yardımıyla Şekil 1’de gösterildiği gibi ölçülmüştür. Bu alanların değeri cm^2 cinsinden elde edilmiştir.



Şekil 1 Apikal ekstrüzyon alanı (A), Apikal ekstrüzyon alanının poligon çizilerek ölçülmesi (B)

Deney akış şeması özet olarak Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2 Deney akış şeması

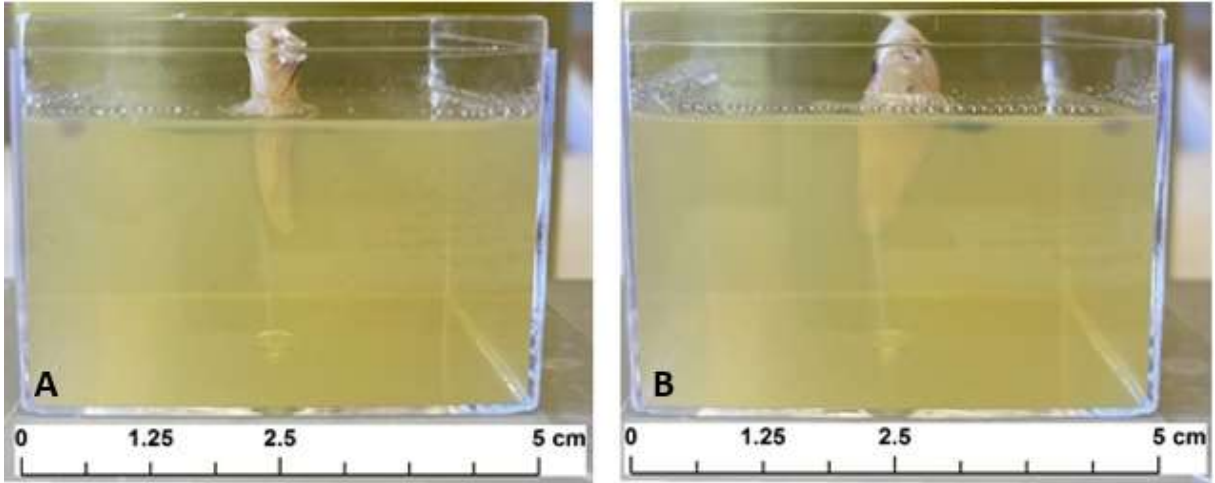
3.5 İstatistiksel Analiz

Tüm istatistiksel analizler SPSS 26.0 (SPSS, Inc., Chicago, IL) yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Verilerin normalliği, hem Kolmogorov-Smirnov testi ve Shapiro-Wilk testi ile hem de çarpıklık (skewness) ve basıklık (kurtosis) parametreleri kullanılarak analiz edilmiştir. Veriler normal dağılım göstermediğinden grupları karşılaştırmak için parametrik olmayan testler kullanılmıştır. Gruplardaki dişlerin apikal ekstrüzyon miktarları, Kruskal-Wallis testi (3 veya daha fazla grup için) ve Mann-Whitney U testi (2 grup için) kullanılarak karşılaştırılmıştır ($p=0.05$). Ayrıca, gruplardaki dişlerin apikal ekstrüzyon gösterip göstermeme durumlarını karşılaştırmak için Ki-kare ve Fisher's exact testleri kullanılmıştır.

4. BULGULAR

Tüm deney grupları Kruskal-Wallis testi ile analiz edilmiş ve p değeri 0.013 olarak bulunmuştur. P değeri 0.05'ten küçük olduğundan hangi 2 grup arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğunu saptamak için Mann-Whitney U testi yapılmıştır.

Pozitif kontrol grubundaki tüm örneklerde beklenildiği gibi NaOCl ekstrüzyonu gözlenmiştir. Buna karşın negatif kontrol grubunda Şekil 3'te görüldüğü üzere herhangi bir ekstrüzyon alanı gözlenmemiştir. Pozitif kontrol grubu ile negatif kontrol grubu, SNI, PUI ve EA grupları arasında Mann-Whitney U testine göre anlamlı bir fark bulunmuştur ($p<0.05$).



Şekil 3 Negatif kontrol grubunda apikal ekstrüzyon alanının gözlenmediği bukkal (A) ve proksimal (B) görüntüler

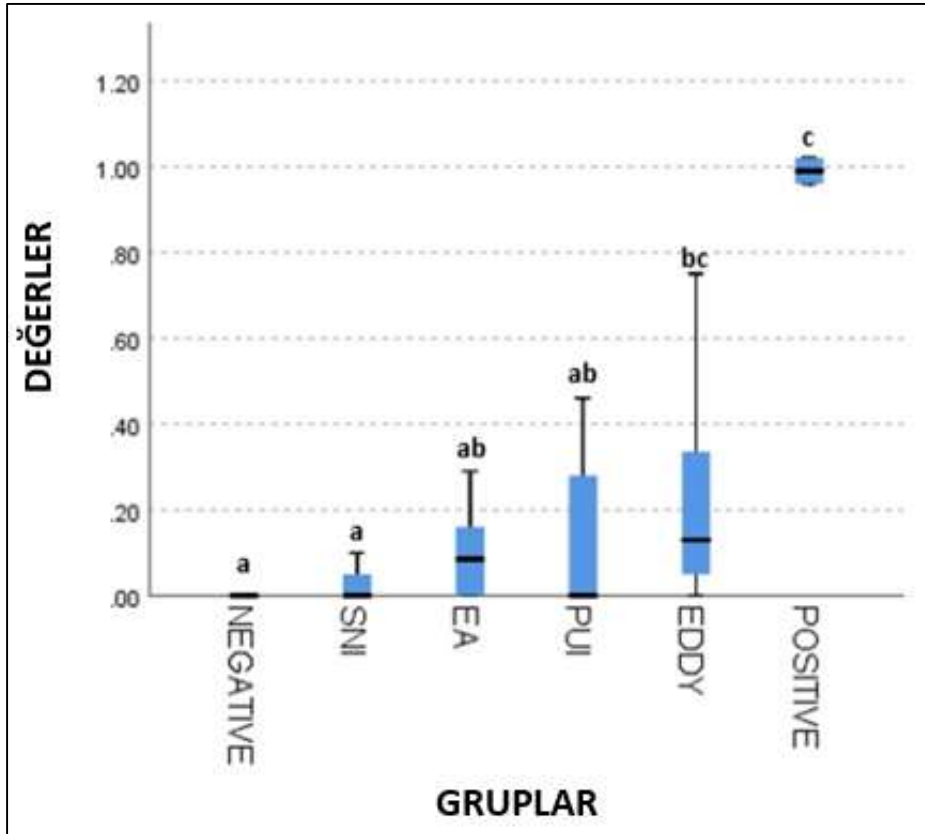
Plastik kap içerisindeki jelin yüksekliği 2.8 cm ve toplam jel hacmi 70 cm³ olarak ölçülmüştür (5 cm x 5 cm x 2.8 cm). Görüntüler 2 boyutta incelendiğinden toplam jel alanı 14 cm² (5 cm x 2.8 cm) olarak belirlenmiştir. Buna göre; SNI, EA, PUI ve EDDY grupları için apikal ekstrüzyon alanlarının ortalama değerleri sırasıyla 0.04 cm², 0.09 cm², 0.13 cm² ve 0.21 cm² olarak ölçülmüş ve sonuçlar Tablo 1 ve Şekil 4'te verilmiştir. 2'li gruplar (SNI-PUI, SNI-EA, PUI-EA, PUI-EDDY, EA-EDDY) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0.05$). EDDY grubundaki dişler diğer gruplardan daha yüksek apikal ekstrüzyon değerleri göstermesine rağmen, istatistiksel olarak anlamlı bir fark sadece SNI ve EDDY grupları arasında saptanmıştır ($p<0.05$).

Tablo 1 Apikal ekstrüzyon alanlarının kullanılan irrigasyon sistemine göre ortalama değerleri ve standart sapmaları

İrrigasyon Sistemi	Ortalama $\pm$ Standart Sapma (cm ²)
Negatif Kontrol Grubu	0 ^a
Şırınga-İğne İrrigasyonu (SNI)	0.04 $\pm$ 0.08 ^a
Pasif Ultrasonik İrrigasyon (PUI)	0.13 $\pm$ 0.18 ^{ab}
EndoAktivatör (EA)	0.09 $\pm$ 0.10 ^{ab}
EDDY	0.21 $\pm$ 0.22 ^{bc}
Pozitif Kontrol Grubu	0.99 $\pm$ 0.04 ^c

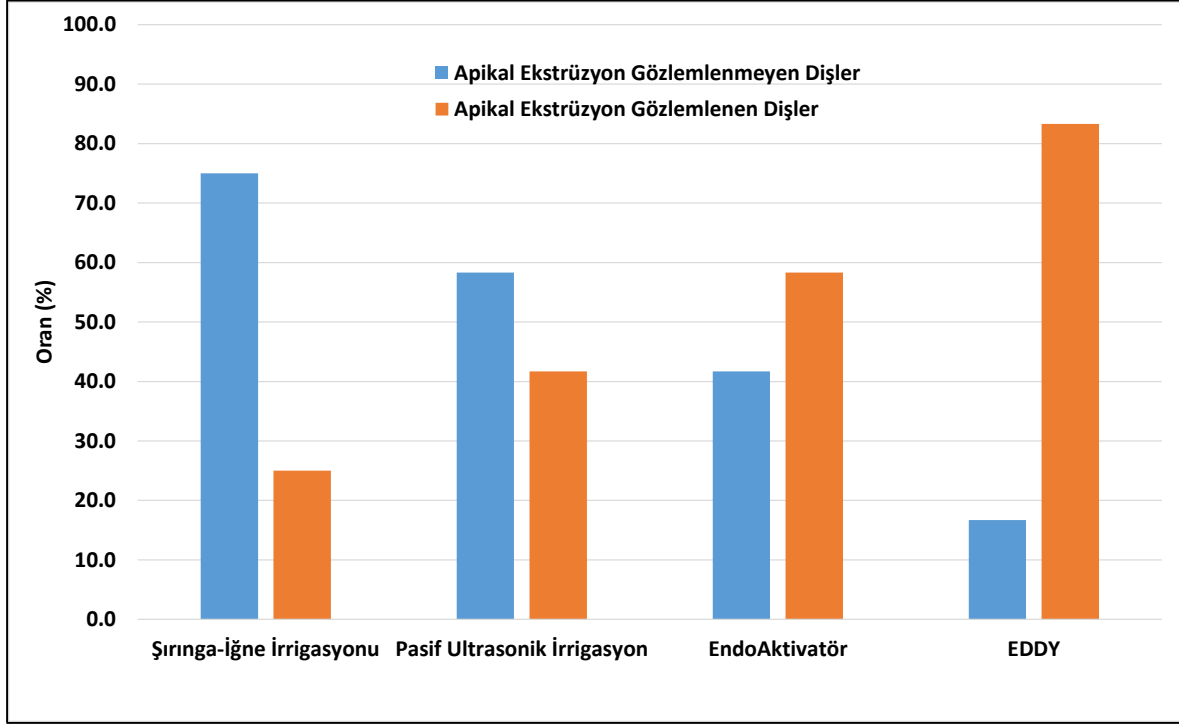
***Farklı olarak yazılan harfler, gruplar arasındaki istatistiksel farklılıkları temsil etmektedir (p<0.05).

***Aynı olarak yazılan harfler, gruplar arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığını göstermektedir (p>0.05).



Şekil 4 Apikal ekstrüzyon alanlarının kullanılan irrigasyon sistemine göre ortalama değerleri

SNI, PUI, EA ve EDDY gruplarındaki dişlerin apikal ekstrüzyon gösterme oranı, Şekil 5'te görüldüğü üzere, sırasıyla %25, %41.6, %58.3 ve %83.3 olarak saptanmıştır. Sadece SNI ve EDDY arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p<0.05$).



Şekil 5 İrrigasyon sistemine göre apikal ekstrüzyon gözlenen dişlerin oranı

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Kök kanal tedavisinin başarılı olabilmesi için; kök kanalından mikroorganizmaların ve kanal içi debrisin kemomekanik olarak efektif bir şekilde uzaklaştırılması gerekmektedir. Rutin endodontik tedavilerde, yeterli mekanik debridmanın yapılamamasından ötürü, yardımcı bir irrigasyon solüsyonu kullanılmaktadır. Günümüzde irrigasyon solüsyonu olarak en yaygın kullanılan NaOCl, yeterli dezenfeksiyonun sağlanması için yüksek hacimde ve sıklıkta uygulanabilmektedir. Ancak yüksek hacimde ve sıklıkta kullanılan NaOCl apikal bölgeden ekstrüze olduğunda periapikal dokularda zarara yol açabilmektedir. Bu nedenle klinisyenler NaOCl'nin kanal içine güvenli bir şekilde verilebilmesini sağlayan irrigasyon sistemlerini tercih etmelidirler.

Bu çalışmada; NaOCl'nin apikal ekstrüzyon miktarının SNI grubunda, EA ve PUI gruplarına göre daha az olduğu fakat Kruskal-Wallis testine göre bu üç grup arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı bulunmuştur ($p>0.05$). Bu sonuç literatürdeki bazı çalışmalarla da uygunluk göstermektedir [27, 31, 38, 39]. Fakat Mitchell ve ark.'nın yaptığı bir çalışmada SNI'nin aktive edilen cihazlara göre daha fazla miktarda ve sıklıkla apikal ekstrüzyona sebep olduğu bulunmuştur [25]. Bu farklı sonucun; değişik dizaynlardaki iğnelerin kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu proje kapsamında yandan açılı kapalı uçlu iğneler kullanılırken, Mitchell ve ark.'nın çalışmasında açık uçlu iğneler kullanılmıştır. Açık uçlu iğneler, irrigasyon solüsyonunu direk olarak apikale yönlendirdiğinden daha fazla apikal ekstrüzyona neden olmaktadır [40]. Bu çalışmanın sonuçlarıyla farklılık gösteren bir başka çalışma ise Yost ve ark.'nın çalışmasıdır [30]. Yost ve ark., SNI'nin apikal ekstrüzyon miktarının EA'ya göre daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Bu farklılığın sebebinin, NaOCl'nin farklı sürelerde ve miktarlarda kullanılması olabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada irrigasyon solüsyonu 2mL/30 saniye boyunca kullanılırken, Yost ve ark.'nın yaptığı çalışmada irrigasyon solüsyonu 4 mL/60 saniye boyunca kullanılmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda; PUI, EA ve EDDY grupları arasında apikal ekstrüzyon miktarı bakımından Kruskal-Wallis testine göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır ($p>0.05$). Bununla birlikte, literatürdeki diğer çalışmalarla uyumlu olarak, PUI grubundaki dişlerin apikal ekstrüzyon miktarı, EA grubundaki

dişlere göre daha fazladır [25, 26]. Ancak, EA grubunda apikal ekstrüzyon gösteren dişlerin sayısı PUI grubuna göre daha fazladır. Sonik sistemlerin uç kısımlarının fazla hareket etmesi nedeniyle, ultrasonik dişlere göre, daha fazla dişte apikal ekstrüzyona neden olmuş olabilecekleri düşünülmektedir. Fakat yine de fazla miktarda oluşan apikal ekstrüzyon, periapikal dokularda daha çok hasar oluşturacağından, göz önüne alınması gereken asıl noktadır. Buna ek olarak, PUI ve EA'nın kanal temizleme etkinliklerinin benzer olduğu gösterilmiştir [1]. Bu nedenle kök kanal boşluğuna yeterli miktarda irrigasyon solüsyonunun güvenli bir şekilde verilebilmesinin, sonik veya ultrasonik irrigasyon sistemlerinin seçiminde, önemli bir faktör olduğu düşünülmektedir.

Bilgimiz dahilinde literatürde, matür dişlerde EDDY'nin apikal ekstrüzyon miktarını diğer irrigasyon sistemleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendiren bir çalışma bulunmamaktadır. Fakat literatürde dos Reis ve ark.'nın, immatür dişlerde EDDY'nin apikal ekstrüzyon miktarını diğer sistemlerle karşılaştırmalı olarak değerlendirdiği bir çalışma yer almaktadır [38]. Dos Reis ve ark., EDDY'nin apikal ekstrüzyon miktarını ultrasonik sistemlere ve SNI'ya göre anlamlı ölçüde daha fazla bulmuştur. Bu çalışmada ise EDDY ile PUI ve EA grupları arasında anlamlı bir fark bulunmazken, EDDY'nin apikal ekstrüzyon miktarı SNI'ya göre anlamlı ölçüde daha fazla olarak bulunmuştur. EDDY'nin geniş bir salınım hareketi sağlaması, kavitasyon ve akustik iletimi artırması gibi özellikleri nedeniyle immatür dişlerde çok daha fazla apikal ekstrüzyona neden olabileceği düşünülmektedir [41, 42]. Buna ek olarak, EDDY'nin uç kısmının fazla tapera sahip olmasının, irrigasyon solüsyonunun koranal bölgeye taşınamamasından dolayı, daha fazla apikal ekstrüzyona neden olabileceği bildirilmiştir [43].

Bu çalışmada apikal ekstrüzyon alanının görülebilmesi ve ölçülebilmesi için agaroz ile hazırlanmış bir jel/diş modeli kullanılmıştır. Bu model apikal ekstrüzyonun yönünü, yoğunluğunu ve miktarını gösterebilmektedir. Fakat agaroz jel pöröz bir yapıya sahiptir. Bu nedenle doğru bir şekilde hazırlanamadığında içerisinde çatlaklar oluşabilmektedir. Bu çatlaklar içerisine daha fazla NaOCl difüzyonu olacağından ekstrüzyon miktarı yanlış bir şekilde hesaplanabilmektedir. Ayrıca final irrigasyonundan sonra dişin jel içerisinde fazla süre bekletilmesi de hatalı ekstrüzyon alanlarının ölçülmesine neden olabilmektedir. Bu limitasyonu en aza indirmek için,

literatürde de önerildiği üzere, tüm örneklerdeki dişlerin fotoğrafları 3 dakika sonra sabit bir uzaklıkta çekilmiş ve taşan NaOCl solüsyonu jel üzerinden temizlenmiştir [25].

Literatürdeki daha önceden yapılan çalışmalarda apikal ekstrüzyon miktarı, çeşitli programlar yardımıyla piksel sayımı yapılarak ölçülmüştür. Bu tür programlarda, fotoğrafın toplam piksel sayısı hesaplanmış daha sonra apikal ekstrüzyon gözlenen alandaki piksel sayısı ile oranlanarak bir sonuç elde edilmiştir (% olarak). Ancak bu yöntemle küçük alanlarda yapılan ölçümlerin büyük hatalar içerebileceği gösterilmiştir [44]. Bu nedenle, hataları en aza indirmek için bu çalışmada apikal ekstrüzyon alanları ArcMAP 10.2.2 programı ile analiz edilmiştir. Ekstrüzyon alanları poligonlar ile belirlenerek cm² cinsinden ölçülmüştür.

Projenin öneri aşamasında, EDDY'nin matür dişlerdeki apikal ekstrüzyon miktarının değerlendirilerek rutinde kullanılan irrigasyon sistemleri ile karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda SNI, EA, PUI ve EDDY gruplarındaki dişlerin apikal ekstrüzyon miktarlarının doğru olarak ölçülebilmesi yüksek başarı ölçütü olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda tüm örneklerdeki ekstrüzyon alanları tam olarak görüntülenmiş ve ölçümler yapılarak sonuçlar ortaya konmuştur. Apikal ekstrüzyonun gözlenemediği ve jel yapısındaki sorunlar nedeniyle doğru olmayan ekstrüzyon alanlarının olduğu durumlarda deneyler tekrarlanmıştır. Böylece riskler en aza indirilerek daha doğru sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada tüm irrigasyon sistemlerinin farklı oranlarda apikal ekstrüzyona neden olduğu gösterilmiştir. EDDY'nin apikal ekstrüzyon miktarı SNI, PUI ve EA'ya göre daha fazla bulunmuştur. Ancak istatistiksel olarak anlamlı bir fark yalnızca SNI ve EDDY grubu arasındadır ($p<0.05$). Yüksek miktarda oluşan apikal ekstrüzyon çevre dokulara zarar verebilmektedir. Ayrıca tedavi sonrası ağrı ve ödem gibi semptomlara neden olarak tedavi başarısını ve hastanın konforunu düşürebilmektedir. Bu nedenle kök kanal tedavilerinin başarısını arttırmak için, seçilen irrigasyon sisteminin potansiyel apikal ekstrüzyon etkisi dikkate alınmalıdır.

6. KAYNAKLAR

1. Urban, K., et al., *Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation*. Clin Oral Investig, 2017. **21**(9): p. 2681-2687.
2. McComb, D. and D.C. Smith, *A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures*. J Endod, 1975. **1**(7): p. 238-42.
3. Peters, O.A., K. Schönenberger, and A. Laib, *Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography*. International Endodontic Journal, 2001. **34**(3): p. 221-230.
4. Sjogren, U., et al., *Influence of infection at the time of root filling on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis*. Int Endod J, 1997. **30**(5): p. 297-306.
5. Zehnder, M., *Root canal irrigants*. J Endod, 2006. **32**(5): p. 389-98.
6. Gernhardt, C.R., et al., *Toxicity of concentrated sodium hypochlorite used as an endodontic irrigant*. Int Endod J, 2004. **37**(4): p. 272-80.
7. Becking, A.G., *Complications in the use of sodium hypochlorite during endodontic treatment: report of three cases*. Oral surgery, Oral medicine, Oral pathology, 1991. **71**(3): p. 346-348.
8. Basrani, B., A. Ghanem, and L. Tjaderhane, *Physical and chemical properties of chlorhexidine and calcium hydroxide-containing medications*. J Endod, 2004. **30**(6): p. 413-7.
9. Sabala, C.L. and S.E. Powell, *Sodium hypochlorite injection into periapical tissues*. Journal of Endodontics, 1989. **15**(10): p. 490-492.
10. George, R., K. Chan, and L.J. Walsh, *Laser-induced agitation and cavitation from proprietary honeycomb tips for endodontic applications*. Lasers in medical science, 2015. **30**(4): p. 1203-1208.
11. Jensen, S.A., et al., *Comparison of the cleaning efficacy of passive sonic activation and passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals*. Journal of Endodontics, 1999. **25**(11): p. 735-738.
12. Nielsen, B.A. and J.C. Baumgartner, *Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals*. Journal of Endodontics, 2007. **33**(5): p. 611-615.
13. Haapasalo, M., et al., *Irrigation in endodontics*. Br Dent J, 2014. **216**(6): p. 299-303.
14. Psimma, Z., et al., *Effect of needle insertion depth and root canal curvature on irrigant extrusion ex vivo*. Journal of endodontics, 2013. **39**(4): p. 521-524.
15. Kleier, D.J., R.E. Averbach, and O. Mehdi-pour, *The sodium hypochlorite accident: experience of diplomates of the American Board of Endodontics*. Journal of Endodontics, 2008. **34**(11): p. 1346-1350.
16. Svec, T.A. and J.W. Harrison, *Chemomechanical removal of pulpal and dentinal debris with sodium hypochlorite and hydrogen peroxide vs normal saline solution*. Journal of endodontics, 1977. **3**(2): p. 49-53.
17. Grande, N.M., et al., *Interaction between EDTA and sodium hypochlorite: a nuclear magnetic resonance analysis*. Journal of endodontics, 2006. **32**(5): p. 460-464.
18. Ringel, A.M., et al., *In vivo evaluation of chlorhexidine gluconate solution and sodium hypochlorite solution as root canal irrigants*. Journal of Endodontics, 1982. **8**(5): p. 200-204.
19. Al-Hadlaq, S.M., et al., *Efficacy of a new brush-covered irrigation needle in removing root canal debris: a scanning electron microscopic study*. Journal of endodontics, 2006. **32**(12): p. 1181-1184.
20. Gu, L.S., et al., *Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices*. J Endod, 2009. **35**(6): p. 791-804.
21. Kahn, F.H., P.A. Rosenberg, and J. Gliksberg, *An in vitro evaluation of the irrigating characteristics of ultrasonic and subsonic handpieces and irrigating needles and probes*. Journal of Endodontics, 1995. **21**(5): p. 277-280.

22. Hauser, V., A. Braun, and M. Frentzen, *Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system (RinsEndo®)*. International Endodontic Journal, 2007. **40**(8): p. 644-652.
23. Van der Sluis, L., et al., *The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation*. International Endodontic Journal, 2006. **39**(6): p. 472-476.
24. Sedgley, C., et al., *Influence of irrigant needle depth in removing bioluminescent bacteria inoculated into instrumented root canals using real-time imaging in vitro*. International Endodontic Journal, 2005. **38**(2): p. 97-104.
25. Mitchell, R.P., S.E. Yang, and J.C. Baumgartner, *Comparison of apical extrusion of NaOCl using the EndoVac or needle irrigation of root canals*. J Endod, 2010. **36**(2): p. 338-41.
26. Desai, P. and V. Himel, *Comparative safety of various intracanal irrigation systems*. J Endod, 2009. **35**(4): p. 545-9.
27. Rodríguez-Figueroa, C., S.B. McClanahan, and W.R. Bowles, *Spectrophotometric determination of irrigant extrusion using passive ultrasonic irrigation, EndoActivator, or syringe irrigation*. Journal of endodontics, 2014. **40**(10): p. 1622-1626.
28. Hargreaves, K.M. and L.H. Berman, *Cohen's pathways of the pulp*. 2016.
29. Caron, G., *Cleaning efficiency of the apical millimeters of curved canals using three different modalities of irrigant activation: an SEM study*. Paris: Paris VII University, 2007.
30. Yost, R.A., et al., *Evaluation of 4 Different Irrigating Systems for Apical Extrusion of Sodium Hypochlorite*. J Endod, 2015. **41**(9): p. 1530-4.
31. Azim, A.A., et al., *Comparison of sodium hypochlorite extrusion by five irrigation systems using an artificial root socket model and a quantitative chemical method*. Clin Oral Investig, 2018. **22**(2): p. 1055-1061.
32. ÇİÇEK, A.G.D.E. and E. BODRUMLU, *Endodontide ultrasonikler: derleme*. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi. **2012**(Supplement 6).
33. Ahmad, M., T.R.P. Ford, and L.A. Crum, *Ultrasonic debridement of root canals: an insight into the mechanisms involved*. Journal of Endodontics, 1987. **13**(3): p. 93-101.
34. Huque, J., et al., *Bacterial eradication from root dentine by ultrasonic irrigation with sodium hypochlorite*. International Endodontic Journal, 1998. **31**(4): p. 242-250.
35. Kivanç, B.H., et al., *Apical extrusion of sodium hypochlorite activated with two laser systems and ultrasonics: a spectrophotometric analysis*. BMC Oral Health, 2015. **15**(1): p. 1-5.
36. Rius, L., et al., *Analysis of the smear layer generated by different activation systems: an in vitro study*. Clinical Oral Investigations, 2020.
37. Haupt, F., et al., *Effectiveness of different activated irrigation techniques on debris and smear layer removal from curved root canals: a SEM evaluation*. Australian Endodontic Journal, 2020. **46**(1): p. 40-46.
38. dos Reis, S., et al., *Volumetric analysis of irrigant extrusion in immature teeth after different final agitation techniques*. Journal of Endodontics, 2020. **46**(5): p. 682-687.
39. Genc Sen, O. and M. Kaya, *Comparative safety of needle, EndoActivator, and Laser-activated irrigation in overinstrumented root canals*. Photomedicine and laser surgery, 2018. **36**(4): p. 198-202.
40. Shen, Y., et al., *Three-dimensional numeric simulation of root canal irrigant flow with different irrigation needles*. Journal of Endodontics, 2010. **36**(5): p. 884-889.
41. Marques-da-Silva, B., et al., *Effectiveness of five instruments when removing calcium hydroxide paste from simulated internal root resorption cavities in extracted maxillary central incisors*. International Endodontic Journal, 2020. **53**(3): p. 366-375.
42. Plotino, G., et al., *Efficacy of sonic and ultrasonic irrigation devices in the removal of debris from canal irregularities in artificial root canals*. J Appl Oral Sci, 2019. **27**: p. e20180045.

43. Neuhaus, K.W., et al., *Antibacterial Efficacy of a New Sonic Irrigation Device for Root Canal Disinfection*. J Endod, 2016. **42**(12): p. 1799-1803.
44. Kneissl, T., S. van Gasselt, and G. Neukum, *Map-projection-independent crater size-frequency determination in GIS environments—New software tool for ArcGIS*. Planetary and Space Science, 2011. **59**(11-12): p. 1243-1254.